



02-19-04

Express Mail No. EV 346 810 507 US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: Christophe MALEVILLE et al.

Confirmation No. 6835

Application No: 10/691,403

Group Art Unit: 2812

Filing Date: October 21, 2003

Examiner:

For: METHOD FOR PRODUCING A HIGH
QUALITY USEFUL LAYER ON A SUBSTRATE

Atty. Docket No.: 4717-11700

SUBMISSION OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

Applicants have claimed priority under 35 U.S.C. § 119 of Application No. FR0309304 filed July 29, 2003 in France. In support of this claim, a certified copy of said application is submitted herewith.

No fee or certification is believed to be due for this submission. Should any fees be required, however, please charge such fees to Winston & Strawn LLP Deposit Account No. 50-1814.

Respectfully submitted,

Date: _____

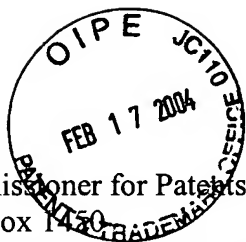
2/17/07

Allan A. Fanucci (Reg. No. 30,256)

WINSTON & STRAWN
CUSTOMER NO. 28765
(212) 294-3311

Enclosures

NY:842007.1



To:
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

EXPRESS MAIL LIST

The following items listed below are being filed herewith with the USPTO on **February 17, 2004**

Express Mail No. EV 346 810 507US		
Attorney Docket No.	Appln. Serial No.	Items - Documents filed on February 17, 2004
4717-11700	10/691,403	Submission Of Certified Priority Document No. FR0309304

Please acknowledge receipt of these items as received by returning the enclosed postcards with the date of receipt of February 17, 2004





BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 14 NOV. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

REMISE DES PIÈCES

DATE

29 JUIL. 2003

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0309304

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

29 JUIL. 2003

PAR L'INPI

Vos références pour ce dossier

(facultatif) 240680 D21302 JC

**1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE**

Cabinet REGIMBEAU
20, rue de Chazelles
75847 PARIS CEDEX 17
FRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

Demande de brevet initiale

N°

Date

ou demande de certificat d'utilité initiale

N°

Date

Transformation d'une demande de

☐

brevet européen Demande de brevet initiale

N°

Date

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

PROCEDE D'OBTENTION D'UNE COUCHE MINCE DE QUALITE ACCRUE PAR CO-IMPLANTATION
ET RECUIT THERMIQUE.

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE

LA DATE DE DÉPÔT D'UNE

DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)

☒ Personne morale ☐ Personne physique

Nom
ou dénomination sociale

S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES

Prénoms

Forme juridique

SOCIETE ANONYME

N° SIREN

384711909

Code APE-NAF

Domicile
ou
siège

Rue

Parc Technologique des Fontaines Chemin des Franques 38190
BERNIN FRANCE

Code postal et ville

Pays

FRANCE

Nationalité

Française

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

☐ S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

REMISE DES PIÈCES DATE 29 JUIL 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0309304 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI
6 MANDATAIRE (s'il y a lieu) Nom _____ Prénom _____ Cabinet ou Société _____ N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel _____ Adresse Rue _____ Code postal et ville _____ Pays _____ N° de téléphone (facultatif) _____ N° de télécopie (facultatif) _____ Adresse électronique (facultatif) _____		240680 JC Cabinet REGIMBEAU 20, rue de Chazelles 75847 PARIS CEDEX 17 01 44 29 35 00 01 44 29 35 99 info@regimbeau.fr
7 INVENTEUR (S) Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
8 RAPPORT DE RECHERCHE Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS Le support électronique de données est joint La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences <input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI L. MARIELLO

La présente invention concerne un procédé de réalisation d'une structure comprenant une couche mince de matériau semi-conducteur sur un substrat, comportant les étapes consistant à :

- réaliser une implantation d'espèces sous une face d'un substrat donneur à partir duquel la couche mince doit être réalisée, de manière à créer une zone de fragilisation dans l'épaisseur du substrat donneur,
- mettre en contact intime la face du substrat donneur ayant subi l'implantation avec un substrat support,
- détacher le substrat donneur au niveau de la zone de fragilisation, pour transférer une partie du substrat donneur sur le substrat support et former la couche mince sur celui-ci.

Et l'invention concerne également les structures obtenues par un tel procédé.

Par implantation d'espèces, on entend tout bombardement d'espèces atomiques ou ioniques, susceptible d'introduire ces espèces dans le matériau du substrat implanté, avec un maximum de concentration des espèces implantées situées à une profondeur déterminée du substrat par rapport à la surface bombardée.

On connaît déjà des procédés du type mentionné ci-dessus.

Les procédés de type SMARTCUT® sont un exemple de procédé de ce type. Ces procédés correspondent à un mode préféré de mise en œuvre de l'invention.

On trouvera de plus amples détails concernant le procédé SMARTCUT® dans le document « Silicon-On-Insulator Technology : Materials to VLSI, 2nd Edition » de Jean-Pierre Colinge chez « Kluwer Academic Publishers », p.50 et 51.

De tels procédés permettent de réaliser de manière avantageuse des structures comprenant une couche mince de matériau semi-conducteur.

Ces structures peuvent par exemple être de type SOI (Silicon On Insulator, pour Silicium sur Isolant, selon la terminologie anglo-saxonne répandue).

Les structures obtenues par de tels procédés sont mises en œuvre pour des applications dans les domaines de la microélectronique, de l'optique et/ou de l'optronique.

Or, les spécifications d'état de surface des structures utilisées dans ces domaines sont généralement très sévères.

La rugosité de la couche mince est en effet un paramètre qui conditionne dans une certaine mesure la qualité des composants qui seront réalisés sur la structure.

La rugosité est généralement exprimée soit par une valeur quadratique moyenne dite RMS (selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne « Root Mean Square »), soit par une densité spectrale de puissance dite PSD (selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne « Power Spectral Density »).

A titre d'exemple, il est courant de trouver des spécifications de rugosité ne devant pas dépasser 5 Angströms en valeur RMS.

Les mesures de rugosité peuvent en particulier être effectuées grâce à un microscope à force atomique AFM (selon l'acronyme de l'appellation anglo-saxonne Atomic Force Microscop).

Avec ce type d'appareil, la rugosité est mesurée sur des surfaces balayées par la pointe du microscope AFM, allant de $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ à $10 \times 10 \mu\text{m}^2$, et plus rarement $50 \times 50 \mu\text{m}^2$, voir $100 \times 100 \mu\text{m}^2$.

La rugosité peut être caractérisée, en particulier, selon deux modalités.

Selon l'une de ces modalités, la rugosité est dite à hautes fréquences et correspond à des surfaces balayées de faibles dimensions (de l'ordre de $1 \times 1 \mu\text{m}^2$).

Selon l'autre des ces modalités, la rugosité est dite à basses fréquences et correspond à des surfaces balayées de dimensions plus importantes (de l'ordre de $10 \times 10 \mu\text{m}^2$, ou plus).

Les « hautes fréquences » et « basses fréquences » mentionnées ci-dessus correspondent ainsi à des fréquences spatiales liées à la mesure de rugosité.

La spécification de 5 Angströms RMS donnée ci-dessus à titre indicatif est ainsi une rugosité à basses fréquences, correspondant à une surface balayée de $10 \times 10 \mu\text{m}^2$.

Une faible rugosité à hautes fréquences est en particulier désirée
5 pour obtenir de bons oxydes de grille.

Une faible rugosité à basses fréquences (ou encore « ondulation ») est intéressante notamment lorsque l'on souhaite coller un autre substrat sur la surface libre de la couche mince.

Les couches minces qui sont obtenues par les procédés de transfert
10 connus (par exemple de type SMARTCUT[®]) présentent des rugosités de surface dont les valeurs sont généralement supérieures à des spécifications telles que mentionnées ci-dessus, en l'absence de l'application à la surface de la couche mince d'un traitement spécifique.

Des étapes de finition sont ainsi généralement mises en œuvre sur la
15 structure suite à l'étape de détachement, de manière à améliorer la qualité de la couche mince transférée.

Plus précisément, ces étapes de finition ont notamment pour objectif de gommer toutes les rugosités, c'est-à-dire aussi bien les rugosités à hautes fréquences que les rugosités à basses fréquences.

20 Ces étapes de finition font généralement intervenir des opérations telles qu'un polissage mécano-chimique (ou CMP selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne Chemical-Mechanical Polishing), un recuit en four, un recuit rapide, une séquence d'oxydation/désoxydation.

Un premier type de procédé connu pour diminuer la rugosité de
25 surface consiste ainsi à effectuer un polissage mécano-chimique de la surface libre de la couche mince.

Ce type de procédé permet effectivement de réduire la rugosité de la surface libre de la couche mince en diminuant toutes les ondulations, et notamment celles à plus basses fréquences.

30 Cependant, le polissage mécano-chimique induit des défauts (par exemple par écrouissage) dans la couche mince.

En outre, il compromet l'uniformité de la surface libre de la couche mince (en particulier l'uniformité selon les très basses fréquences).

Ces inconvénients sont de plus accrus dans le cas où l'on procède à un polissage important de la surface de la couche mince.

5 En alternative à un tel polissage CMP, il a été proposé de traiter la surface de la structure par un recuit sous atmosphère hydrogénée.

Le document EP 954 014 propose ainsi un procédé de finition permettant de diminuer la rugosité d'une couche mince transférée suivant un procédé de type SMARTCUT®, ledit procédé de finition comprenant, 10 suite à l'étape de détachement, un recuit thermique sous atmosphère réductrice contenant de l'hydrogène.

Le recuit thermique sous atmosphère réductrice contenant de l'hydrogène permet de gommer les rugosités hautes fréquences par une reconstruction de la surface.

15 Mais ce traitement ne permet pas d'éliminer totalement les rugosités de plus basses fréquences (5 à 10 micromètres).

Il a par ailleurs été proposé dans le document FR 2 797 713 de combiner deux types de traitement de surface différents, chacun de ces deux types de traitement agissant sur des plages distinctes de fréquence de 20 rugosité.

Il est pour cela procédé à une étape de recuit thermique rapide sous atmosphère réductrice ainsi qu'à une étape de polissage mécano-chimique (CMP), ces étapes se distinguant par leurs effets sur des plages de fréquence différentes.

25 Dans le cas d'un tel traitement, le recuit sous atmosphère réductrice favorise un lissage de la rugosité à hautes fréquences (période spatiale inférieure à 3 Angströms), mais est moins efficace pour réduire les ondulations, qui sont plutôt de basses fréquences.

Le polissage mécano-chimique est quant à lui efficace pour diminuer 30 les ondulations à basses fréquences.

Mais comme on l'a vu précédemment, le polissage mécano-chimique est intrinsèquement associé à certains inconvénients.

Il apparaît ainsi que les procédés connus pour améliorer la qualité de la couche mince d'une structure du type mentionné ci-dessus sont associés à des limitations ou à des inconvénients.

Un but de l'invention est de permettre de s'affranchir de ces limitations et inconvénients.

Plus spécifiquement, un autre but de l'invention est de permettre un traitement efficace des rugosités tant basses fréquences que hautes fréquences des structures, sans recourir à un polissage de type CMP.

Un but de l'invention est ainsi d'améliorer la qualité de la couche mince superficielle, étant précisé que par amélioration de la qualité on entend aussi bien :

- la diminution de la rugosité de surface et l'amélioration de l'uniformité de la couche mince, que
- la réduction de la densité de défauts présents dans la couche mince.

Afin d'atteindre ces buts, l'invention propose, selon un premier aspect, un procédé de réalisation d'une structure comprenant une couche mince de matériau semi-conducteur sur un substrat, comportant les étapes consistant à :

- réaliser une implantation d'espèces, sous une face d'un substrat donneur à partir duquel la couche mince doit être réalisée, de manière à créer une zone de fragilisation dans l'épaisseur du substrat donneur ;
 - mettre en contact intime la face du substrat donneur ayant subi l'implantation avec un substrat support ;
 - détacher le substrat donneur au niveau de la zone de fragilisation, pour transférer une partie du substrat donneur sur le substrat support et former la couche mince sur celui-ci ;
- caractérisé en ce que :
- l'étape d'implantation met en œuvre une co-implantation d'au moins deux espèces atomiques différentes de manière à minimiser les rugosités basses fréquences au niveau de la structure obtenue après détachement ;

- et le procédé comporte en outre une étape de finition comprenant au moins une opération de recuit thermique rapide de manière à minimiser les rugosités hautes fréquences au niveau de la structure obtenue après détachement;

Des aspects préférés, mais non limitatifs du procédé selon le premier aspect de l'invention sont les suivants :

- les espèces Hydrogène et Helium sont co-implantées au cours de ladite étape d'implantation ;
- lesdites espèces Hydrogène et Helium sont implantées séquentiellement ;
- l'Hélium est implanté préalablement à l'Hydrogène ;
- la dose d'Hélium implantée est sensiblement comprise entre $0,7.10^{16}.cm^{-2}$ et $1,2.10^{16}.cm^{-2}$ et en ce que la dose d'Hydrogène implantée est sensiblement comprise entre $0,7.10^{16}.cm^{-2}$ et $2.10^{16}.cm^{-2}$;
- le recuit thermique rapide (RTA) est réalisé à une température comprise entre 900°C et 1300°C pendant 1 à 60 secondes ;
- le recuit RTA est réalisé sous une atmosphère comprenant un mélange d'hydrogène de d'argon, ou une atmosphère d'argon pur, ou une atmosphère d'hydrogène pur ;
- ladite étape de finition peut comporter en outre au moins une opération d'oxydation stabilisée StabOx de la structure obtenue après détachement ;
- ladite opération de StabOx met successivement en œuvre une opération d'oxydation, une opération de recuit et une opération de désoxydation ;
- ladite opération de recuit est réalisé pendant deux heures à une température d'environ 1100°C ;
- au cours de l'étape de finition, l'opération de recuit RTA peut être réalisée préalablement à l'opération de StabOx ;
- ladite étape de finition peut comporter une pluralité de séquences RTA / StabOx ;
- au cours de l'étape de finition, l'opération de StabOx peut également être réalisée préalablement à l'opération de recuit RTA ;

- ladite étape de finition peut comporter une pluralité de séquences StabOx / RTA ;
- la ou les opérations de StabOx peuvent être remplacées par une opération d'oxydation simple, ladite opération d'oxydation simple comprenant une opération d'oxydation de la structure obtenue après détachement suivie d'une opération de désoxydation ;

Selon un autre aspect, l'invention concerne également les structures réalisées par mise en œuvre du procédé selon le premier aspect de l'invention.

10 D'autres caractéristiques, buts et avantages, de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et au regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

- la figure 1 représente des mesures de rugosité de type PSD réalisées au centre de différentes structures, et illustre la réduction de rugosité à basses fréquences qui peut être réalisée en mettant en œuvre le procédé selon l'invention, par rapport à ce qu'on obtient par un simple traitement thermique de type RTA;
- la figure 2 représente des mesures de rugosité RMS et illustre la réduction de rugosité basses fréquences réalisée grâce au procédé selon l'invention, et ce sans recourir à une étape de CMP ;
- les figures 3a et 3b sont des représentations analogues à celle de la figure 1, qui illustrent la réduction de rugosité obtenue grâce à l'invention, respectivement au centre d'une structure et au bord de cette structure.

25 Comme cela a déjà été exposé précédemment, l'invention concerne la réalisation de structures comprenant une couche mince de matériau semi-conducteur sur un substrat support, la couche mince étant obtenue par détachement au niveau d'un substrat donneur préalablement fragilisé par implantation d'espèces.

30

La structure peut, de manière générale, être tout type de structure comportant sur une surface exposée à l'environnement extérieur (surface libre) une couche mince d'un matériau semiconducteur.

De manière non limitative, la couche mince de matériau semiconducteur peut être en silicium Si, en carbure de silicium SiC, en germanium Ge, en silicium-germanium SiGe, en arséniure de gallium AsGa, etc.

Le substrat support peut être en silicium Si, en Quartz, etc.

Une couche d'oxyde peut également être intercalée entre le substrat support et la couche mince, la structure ainsi formée étant une structure semiconducteur-sur-isolant (structure SeOI selon l'acronyme de l'expression anglo-saxonne « Semi-Conductor On Insulator », et en particulier par exemple structure SOI).

L'invention peut en particulier permettre d'améliorer la qualité de la couche mince d'une structure obtenue par mise en œuvre d'un procédé de transfert de type SMARTCUT®.

Dans le cadre d'un tel procédé de transfert, l'invention pourra être mise en œuvre avec profit pour diminuer la rugosité de l'une ou l'autre des deux surfaces de matériau semiconducteur qui sont issues du détachement au niveau de la zone de fragilisation, ou de ces deux surfaces.

Dans le cadre du procédé selon l'invention :

- l'étape d'implantation d'espèces visant à créer une zone de fragilisation est réalisée par co-implantation d'au moins deux espèces différentes sous une face du substrat donneur,
- on procède en outre, après le détachement au niveau de la zone de fragilisation, à une étape de finition par recuit thermique rapide.

Selon un mode de réalisation de l'invention, ce sont les espèces Hydrogène et Hélium qui sont ainsi co-implantées sous la face du substrat donneur pour former la zone de fragilisation.

De manière préférentielle, mais non exclusive, la co-implantation est réalisée en implantant séquentiellement l'Helium puis l'Hydrogène.

En menant des expérimentations sur la co-implantation, la Demanderesse a observé que la co-implantation d'Hélium et d'Hydrogène conduisait à transférer des couches minces avec un niveau de rugosité réduit par rapport au transfert faisant suite à une implantation d'Hydrogène seul.;

Plus précisément, la Demanderesse a observé que les fréquences auxquelles cette amélioration de la rugosité apparaît le plus notablement correspondent aux fréquences de rugosité de plus basses fréquences spatiales, c'est à dire les fréquences généralement bien traitées par la CMP.

Dans le cadre du procédé selon l'invention, la face du substrat donneur ayant subi la co-implantation est ensuite mise en contact intime avec le substrat support.

Le substrat donneur est alors détaché au niveau de la zone de fragilisation, pour transférer une partie du substrat donneur sur le substrat support et former la couche mince sur celui-ci.

Ces étapes de mise en contact intime et de détachement sont connues de l'homme du métier et classiquement mises en oeuvre dans les procédés de transfert mentionnés précédemment.

Le détachement peut ainsi être réalisé par apport d'énergie thermique, éventuellement complété par une action mécanique au niveau de la zone de fragilisation.

Le procédé selon l'invention comporte par ailleurs une étape de finition visant notamment à minimiser les rugosités hautes fréquences au niveau de la structure obtenue après détachement.

Une telle étape de finition comporte pour cela au moins une étape de recuit thermique rapide.

Par « recuit thermique rapide », on entend un recuit rapide (c'est à dire effectué pendant une durée de quelques secondes ou quelques dizaines de secondes), sous atmosphère contrôlée.

Un tel recuit est communément désigné par l'appellation de recuit RTA (correspondant à l'acronyme de l'expression anglo-saxonne Rapid Thermal Annealing).

Pour réaliser un recuit RTA de la structure, on recuit la structure à une température élevée, pouvant être par exemple de l'ordre de 900° C à 1300° C, pendant 1 à 60 secondes.

Le recuit RTA est effectué sous atmosphère contrôlée. Cette atmosphère peut être par exemple une atmosphère comprenant un mélange d'hydrogène et d'argon, ou une atmosphère d'argon pur, ou encore une atmosphère d'hydrogène pur.

L'étape de recuit RTA permet en particulier de réduire la rugosité de la surface de la couche mince, essentiellement par reconstruction de surface et lissage.

Et, comme cela a été mentionné précédemment, le recuit RTA favorise en particulier une réduction de la rugosité à hautes fréquences.

En outre, les défauts cristallins présents dans la couche mince, et générés en particulier au cours de l'implantation et du détachement, sont au moins en partie guéris par ce recuit RTA.

Le procédé selon l'invention pour l'obtention d'une structure avec une couche mince de bonne qualité ne met ainsi pas en œuvre de CMP, mais permet toutefois de réduire aussi bien les rugosités hautes fréquences, que les rugosités basses fréquences.

La mise en oeuvre du procédé selon l'invention permet ainsi d'obtenir une structure comprenant une couche mince dont la qualité est suffisante et compatible avec l'utilisation de cette couche mince dans les applications en micro ou opto électronique.

Selon une variante de mise en oeuvre, ladite étape de finition peut également comprendre au moins une étape d'oxydation stabilisée (également dénommée StabOx par la suite).

Une étape de StabOx est classiquement mise en oeuvre dans un procédé de transfert, suite à l'étape de détachement, notamment pour :

- contrôler l'épaisseur de la couche mince et y réduire la densité de défauts ;
- renforcer l'interface entre la couche mince et le substrat support.

On précise que par la suite une étape de StabOx sera comprise comme la succession des opérations suivantes :

- un traitement thermique comportant successivement :

- une oxydation de la structure.

- ✓ Une telle oxydation, classiquement connue de l'homme du métier, peut être par exemple menée en chauffant ladite structure aux environs de 900°C sous oxygène gazeux.

- ✓ Suite à cette oxydation, une couche d'oxyde est alors formée sur la couche mince.

- un recuit de la structure à 1100°C environ pendant deux heures, sous atmosphère d'Argon par exemple. Ce recuit permet à la fois de :

- ✓ renforcer l'interface entre le substrat support et la face du substrat donneur ayant subi l'implantation, et de

- ✓ guérir certains défauts générés au cours des étapes d'implantation et de détachement.

- une opération de désoxydation, qui est réalisée suite au traitement thermique, de manière à retirer la couche d'oxyde formée lors de l'opération d'oxydation.

Une telle désoxydation, connue en soi, peut être par exemple menée en plongeant la structure pendant quelques minutes, dans une solution d'acide fluorhydrique à 10% ou 20% par exemple.

On notera que la couche d'oxyde formée au cours d'oxydation permet de protéger, au cours du recuit qui suit la couche mince sous-jacente.

On notera également qu'une partie de la couche mince, à proximité de sa surface libre, est ainsi consommée lors d'une telle opération de

StabOx.

En mettant en œuvre, au cours de l'étape de finition, en sus de l'étape de RTA, une étape de StabOx, le procédé selon l'invention permet en particulier :

- de réduire encore davantage la concentration de défauts dans la couche mince, et
- d'amener la structure à l'épaisseur visée pour le produit fini.

En effet, comme cela a déjà été mentionné, le recuit RTA permet de reconstruire la surface de la couche mince, et de guérir certains défauts dans l'épaisseur de celle-ci.

Si cette guérison peut, dans certains cas, n'être que partielle, la réalisation d'une étape supplémentaire de StabOx permet un enlèvement de la matière comportant une grande partie des défauts situés au voisinage de la surface libre de la couche mince et dans l'épaisseur de celle-ci.

Ceci correspond donc encore à une amélioration de la qualité de la structure.

Cette variante du procédé selon l'invention, dans lequel l'étape de finition comporte une étape de RTA et au moins une étape de StabOx, est ainsi particulièrement avantageuse lorsqu'il existe pour les défauts un gradient de concentration croissant en direction de la surface libre de la couche mince, et une importante concentration de défauts au voisinage de cette surface.

On notera que l'épaisseur totale consommée par une ou plusieurs séquences StabOx / désoxydation peut être avantageusement contrôlée afin de supprimer tous les défauts et d'amener la structure à l'épaisseur désirée.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux de l'invention, une étape de StabOx est réalisée, au cours de l'étape de finition, postérieurement à l'étape de RTA.

Cette séquence RTA / StabOx permet d'obtenir une meilleure uniformité d'oxydation que lorsque l'étape de StabOx est réalisée directement après détachement, sans mise en œuvre préalable de l'étape de RTA lissant.

En effet, lorsqu'une étape de RTA est mise en œuvre préalablement à une étape de StabOx, la rugosité de surface est plus faible et la surface de la couche mince est plus uniforme.

De telle sorte, la vitesse d'oxydation est proche de celle qui est obtenue lorsque l'on oxyde une structure polie, et est de plus, la même en tout point de la structure.

En outre, il peut être utile de guérir les défauts cristallins présents dans la couche mince (grâce au RTA) avant de consommer de son épaisseur (lors de la séquence StabOx/desoxydation)

Cela est d'autant plus intéressant lorsque la couche mince est particulièrement fine, et qu'une consommation de son épaisseur est susceptible par exemple de déboucher des trous non préalablement guéris et rebouchés par un recuit RTA.

Selon d'autres modes de mise en œuvre de l'invention, l'étape de finition comprenant au moins une opération de RTA, peut consister en l'une des séquences suivantes :

- RTA / StabOx (comme cela vient juste d'être discuté);
- une répétition de plusieurs séquences RTA / StabOx (l'exemple de mise en œuvre discuté ci-après comprenant, en succession, deux de ces séquences RTA / StabOx) ;
- StabOx / RTA ;
- StabOx / RTA / StabOx / RTA ;

Lorsque l'étape de finition comporte au moins un traitement RTA additionnel (comme cela peut être le cas lorsque des séquences RTA/StabOX ou StabOx/RTA sont répétées plusieurs fois), le traitement RTA additionnel permet de continuer à lisser la surface libre de la couche mince.

Ledit traitement RTA additionnel peut en outre être réalisé à plus basse température (par exemple 1000 à 1100°C) que le premier traitement RTA.

Il est ainsi possible de réduire le budget thermique de la répétition des séquences mentionnée ci-dessus, en réalisant un traitement RTA plus basse température.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, une opération dite d'oxydation simple est réalisée à la place d'une étape de StabOx telle que mentionnée ci-dessus.

Cette opération d'oxydation simple comprend successivement une étape d'oxydation et une étape de désoxydation.

Le budget thermique peut alors être également réduit puisque la seconde opération de la StabOx (recuit thermique pendant deux heures environ) n'est pas mise en œuvre.

La réduction du budget thermique est avantageuse, dans la mesure où elle permet de limiter les contraintes appliquées à la structure, réduisant la probabilité de génération de défauts de type dislocations ou lignes de glissement (« slip-lines » selon la terminologie anglo-saxonne) dans l'arrangement cristallographique de la structure.

L'étape d'oxydation suivie de l'étape de désoxydation peut ainsi remplacer l'étape de StabOx dans l'ensemble des enchaînements mentionnés ci-dessus.

On va maintenant décrire ci-dessous de manière détaillée un mode de mise en œuvre du procédé conforme à l'invention, à titre d'exemple non limitatif.

Ce mode de mise en œuvre est relatif à la réalisation de structures S1, S2, S3 comprenant une couche mince sur un substrat support.

L'épaisseur de la couche mince de ces structures respectives est comprise entre 50 et 2000 Angströms, l'épaisseur totale de ces structures étant d'environ 700 μm .

Ces structures S1, S2, S3 sont réalisées en mettant en œuvre, au cours de l'étape d'implantation d'espèces, une co-implantation d'Hélium puis d'Hydrogène, avec des doses respectives de :

- Hélium, $0,7 \cdot 10^{16} \cdot \text{cm}^{-2}$ et Hydrogène, $0,9 \cdot 10^{16} \cdot \text{cm}^{-2}$ pour la structure S1 ;
- Hélium, $0,8 \cdot 10^{16} \cdot \text{cm}^{-2}$ et Hydrogène, $0,9 \cdot 10^{16} \cdot \text{cm}^{-2}$ pour la structure S2 ;

- Hélium, $0,9.10^{16}.cm^{-2}$ et Hydrogène, $0,9.10^{16}.cm^{-2}$ pour la structure S3 ;

A titre de comparaison, une structure S4 est réalisée via une implantation d'Hydrogène seul, avec une dose de $5,5.10^{16}.cm^{-2}$, soit une dose quasiment trois fois supérieure à la dose totale implantée lors de la co-implantation.

Un avantage classiquement observé de la technique de co-implantation est donc ici mis en évidence, avec par rapport à une implantation d'un seul type d'espèces une réduction d'un facteur 3 environ de la dose implantée.

Cette réduction se traduit par une réduction du temps d'implantation, et finalement des coûts associés à la production de structures comportant une couche mince sur un substrat support, en particulier à l'aide d'un procédé de transfert de type SMARTCUT®.

Cet avantage connu est par exemple mis en évidence dans le document de Aditya Agarwal, T. E. Haynes, V. C. Venezia, O. W. Holland, and D. J. Eaglesham, "Efficient production of silicon-on-insulator films by co-implantation of He+ with H+ " Applied Physics Letters, vol. 72 (1998), pp. 1086-1088, dans lequel il est fait état que la co-implantation d'Hydrogène et d'Hélium permet de diminuer les doses devant être implantées.

On notera qu'il est par ailleurs constaté dans ce document que la couche superficielle d'un SOI obtenue par co-implantation d'Hydrogène et d'Hélium présente une rugosité comparable à celle de la couche de surface d'un SOI obtenu par implantation d'Hydrogène seul.

Le document qui vient d'être cité n'évoque ainsi aucunement une quelconque amélioration de rugosité de surface du fait d'une co-implantation (et a fortiori ne propose évidemment aucune exploitation d'un tel effet).

Revenant à la description de l'invention, suite à l'étape de co-implantation, on procède, comme cela a déjà été mentionné, aux étapes classiques de mise en contact intime et de détachement, puis à une étape de finition comportant au moins un RTA, de manière à obtenir les structures finales S1, S2, S3, S4.

Des mesures de rugosité PSD de chacune de ces structures ont été réalisées à l'aide d'un microscope AFM.

La figure 1 représente ainsi la puissance des différentes composantes spectrales de la rugosité de chacune des structures S1, S2, S3, S4.

L'axe des abscisses porté sur le graphique de la figure 1 est ainsi la période spatiale (en μm), qui décrit les fréquences de rugosité observées, des hautes fréquences (à gauche de cet axe) vers les basses fréquences (à droite de cet axe).

Ces mesures ont plus précisément été réalisées en bord de structure, c'est-à-dire au niveau de la zone où le détachement est amorcé lors de l'étape de détachement, cette zone présentant par conséquent généralement une rugosité relativement élevée.

La figure 1 représente le résultat de telles mesures sur une surface balayée de $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ (cette surface de $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ correspondant ainsi la fréquence maximale selon laquelle la rugosité est observée).

La figure 1 permet ainsi d'illustrer la différence de rugosité entre les structures S1, S2, S3, S4, à l'issue du traitement RTA de l'étape de finition desdites structures.

Une première courbe C4 illustre la rugosité de la structure S4 réalisée classiquement par implantation d'hydrogène seul.

Trois autres courbes C1, C2, C3 illustrent la rugosité des structures respectivement S1, S2 et S3 réalisées selon le procédé de l'invention, combinant co-implantation et recuit RTA.

Ces trois courbes C1, C2, C3 correspondent à des doses différentes des espèces co-implantées.

La figure 1 caractérise le faciès de fracture à travers l'analyse des fréquences composant la rugosité, et démontre l'avantage procuré par l'association, selon l'invention, de la co-implantation avec le RTA.

La figure 1 permet effectivement de constater que la rugosité basses fréquences des structures S1, S2 et S3 réalisées selon l'invention est

sensiblement plus faible que celle de la structure S4 réalisée de manière classique.

On observe en particulier une nette diminution de la rugosité pour des périodes spatiales sensiblement comprises entre 3 et 15 μm .

5 La co-implantation permet ainsi de limiter la rugosité basses fréquences, alors que la rugosité hautes fréquences est équivalente, voir légèrement inférieure, au cas d'une implantation d'Hydrogène seul.

La succession selon l'invention des étapes de co-implantation / mise en contact / détachement / RTA permet ainsi d'atteindre des rugosités
10 globalement plus faibles que dans la cas de la succession connue des étapes d'implantation d'Hydrogène seul / mise en contact / détachement / RTA.

Il est en outre possible de jouer sur les doses d'implantation des espèces co-implantées (en particulier la dose d'Helium dans l'exemple ici
15 présenté) tout en conservant une rugosité basses fréquences plus faible que celle classiquement constatée.

Selon le mode de mise en œuvre du procédé conforme à l'invention ici détaillé, l'étape de finition comporte, en sus de l'étape de RTA, des étapes successives de StabOx, RTA et StabOx (soit une étape de finition
20 comportant une répétition de deux séquences RTA/StabOx).

Comme cela a déjà été présenté précédemment, une telle étape de finition permet de :

- consommer de l'épaisseur de la couche mince et réduire les défauts d'implantation résiduels sous la surface après détachement ;
- 25 • consolider l'interface de collage couche mince / substrat support via le recuit réalisé lors des étapes de StabOx ;
- amener la structure à l'épaisseur visé pour le produit fini ;
- continuer à lisser la surface à l'aide du traitement RTA additionnel.

La figure 2 permet de comparer la rugosité RMS de la surface de la
30 structure de type S3 obtenue par le mode de mise en œuvre de l'invention à celle de la surface de la structure de type S4 obtenue par un procédé classique.

Des mesures de rugosité ont pour cela été réalisées à l'aide d'un microscope AFM balayant des surfaces de $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ et de $40 \times 40 \mu\text{m}^2$ tant au centre des structures qu'en leur bord (i.e. zone où est amorcé le détachement).

5 Sur la figure 2 (axe des ordonnées en Angströms RMS), les barres au premier plan représentent les rugosités mesurées pour la structure de type S3, tandis que les barres au second plan représentent les rugosités mesurées pour la structure de type S4.

On observe sur cette figure 2, une nette diminution de la rugosité
10 pour la structure S3; notamment pour les basses fréquences spatiales.

Les figures 3a et 3b sont des représentations analogues à celle de la figure 1, qui illustrent la réduction de rugosité obtenue grâce à l'invention, respectivement au centre d'une structure et au bord de cette structure.

Ces figures 3a et 3b permettent de comparer la rugosité PSD d'une
15 structure de type S3 obtenue par le mode de mise en œuvre de l'invention à celle d'une structure de type S4 obtenue par un procédé classique tant au centre desdites structures (figure 3a), qu'en leur bord (figure 3b).

Les surfaces balayées avaient une dimension de $40 \times 40 \mu\text{m}^2$.

On peut observer sur chacune de ces figures 3a et 3b, que la
20 rugosité de la structure S3 est plus faible que celle de la structure S4, notamment à basses fréquences spatiales (en particulier lorsque la période spatiale est comprise entre 3 et $15 \mu\text{m}$).

On notera en outre une uniformité de rugosité meilleure pour la structure S3 que pour la structure S4 (les différences d'uniformité entre le
25 bord et le centre de la structure S3 étant effectivement atténuées).

On remarquera que le procédé selon l'invention constitue une approche originale qui permet de prévenir une rugosité importante (en particulier aux basses fréquences).

En ceci, l'invention se différencie des traitements connus qui sont
30 « curatifs », dans la mesure où ils interviennent pour « rattraper » une rugosité donnée:

REVENDECATIONS

5 1. Procédé de réalisation d'une structure comprenant une couche mince de matériau semi-conducteur sur un substrat, comportant les étapes consistant à :

- réaliser une implantation d'espèces, sous une face d'un substrat donneur à partir duquel la couche mince doit être réalisée, de manière à
10 créer une zone de fragilisation dans l'épaisseur du substrat donneur ;
- mettre en contact intime la face du substrat donneur ayant subi l'implantation avec un substrat support ;
- détacher le substrat donneur au niveau de la zone de fragilisation, pour transférer une partie du substrat donneur sur le substrat support et
15 former la couche mince sur celui-ci ;

caractérisé en ce que :

- l'étape d'implantation met en œuvre une co-implantation d'au moins deux espèces atomiques différentes de manière à minimiser les rugosités basses fréquences au niveau de la structure obtenue
20 après détachement ;
- et le procédé comporte en outre une étape de finition comprenant au moins une opération de recuit thermique rapide de manière à minimiser les rugosités hautes fréquences au niveau de la structure obtenue après détachement.

25

2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les espèces Hydrogène et Helium sont co-implantées au cours de ladite étape d'implantation.

30 3. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que lesdites espèces Hydrogène et Helium sont implantées séquentiellement.

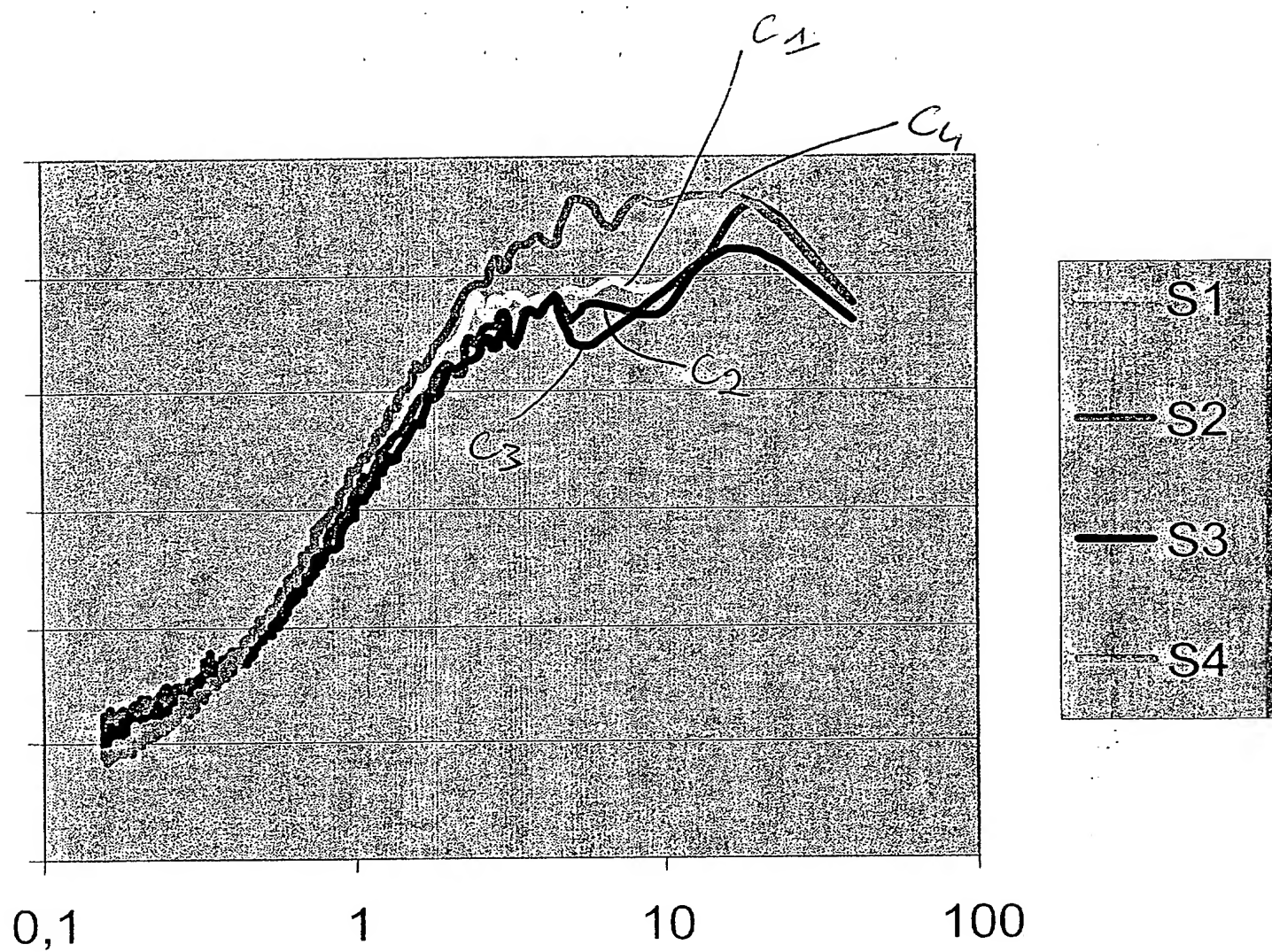
4. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'Hélium est implanté préalablement à l'Hydrogène.
5. Procédé selon l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que la dose d'Hélium implantée est sensiblement comprise entre $0,7.10^{16}.cm^{-2}$ et $1,2.10^{16}.cm^{-2}$ et en ce que la dose d'Hydrogène implantée est sensiblement comprise entre $0,7.10^{16}.cm^{-2}$ et $2.10^{16}.cm^{-2}$.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le recuit thermique rapide (RTA) est réalisé à une température comprise entre $900^{\circ}C$ et $1300^{\circ}C$ pendant 1 à 60 secondes.
7. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le recuit thermique rapide (RTA) est réalisé sous une atmosphère comprenant un mélange d'hydrogène et d'argon.
8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le recuit thermique rapide (RTA) est réalisé sous une atmosphère d'argon pur.
9. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le recuit thermique rapide (RTA) est réalisé sous une atmosphère d'hydrogène pur.
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite étape de finition comprend en outre au moins une opération d'oxydation stabilisée StabOx de la structure obtenue après détachement.
11. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite opération de StabOx met successivement en œuvre une

opération d'oxydation, une opération de recuit et une opération de désoxydation.

12. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite opération de recuit est réalisée pendant deux heures à une température d'environ 1100°C.
13. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que, au cours de l'étape de finition, l'opération de recuit RTA est réalisée préalablement à l'opération de StabOx.
14. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite étape de finition comporte une pluralité de séquences RTA / StabOx.
15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que au cours de l'étape de finition, l'opération de StabOx est réalisée préalablement à l'opération de recuit RTA.
16. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite étape de finition comporte une pluralité de séquences StabOx / RTA.
17. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ladite étape de finition comprend en outre au moins une opération d'oxydation simple, ladite opération d'oxydation simple comprenant une opération d'oxydation de la structure obtenue après détachement suivie d'une opération de désoxydation.
18. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que, au cours de l'étape de finition, l'opération de RTA est réalisée préalablement à ladite oxydation simple.

19. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite étape de finition comporte une pluralité de séquences RTA / oxydation simple.
- 5 20. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que, au cours de l'étape de finition, ladite oxydation simple est réalisée préalablement à l'opération de recuit RTA.
- 10 21. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite étape de finition comporte une pluralité de séquences oxydation simple / RTA.
- 15 22. Structure réalisée grâce au procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisée par le fait que la couche mince présente une faible rugosité à basses fréquences, notamment une rugosité, mesurée en balayant une surface de $40 \times 40 \mu\text{m}^2$, sensiblement comprise entre 4 et 5 Angströms RMS.
- 20

1/3

Figure 1

1 / 3

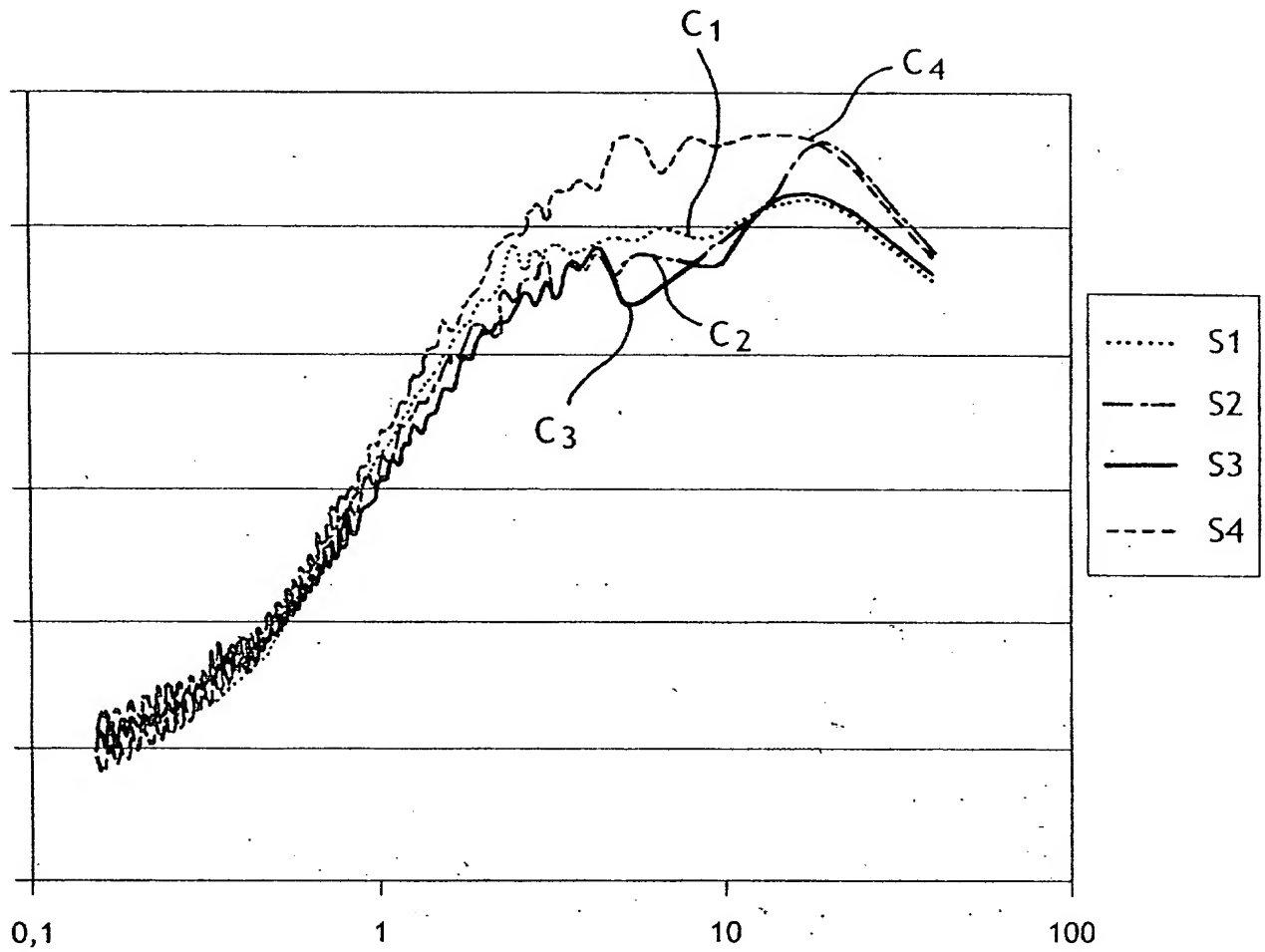
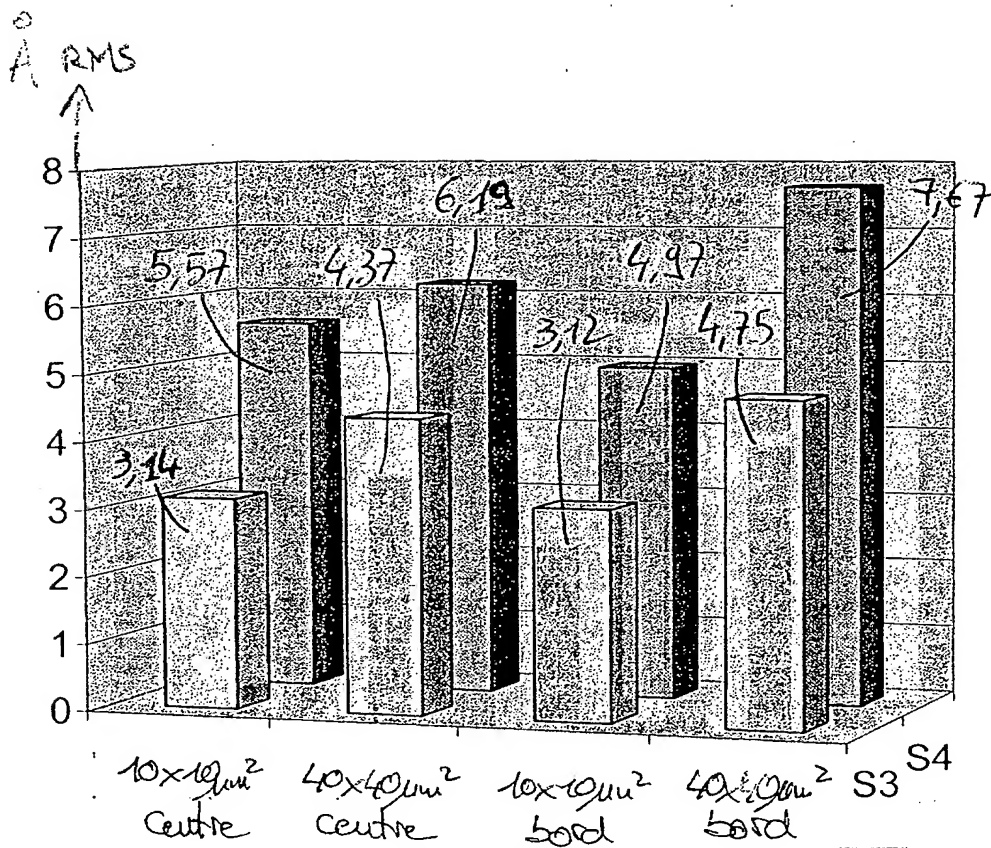


FIG.1

2/3

Figure 2

2 / 3

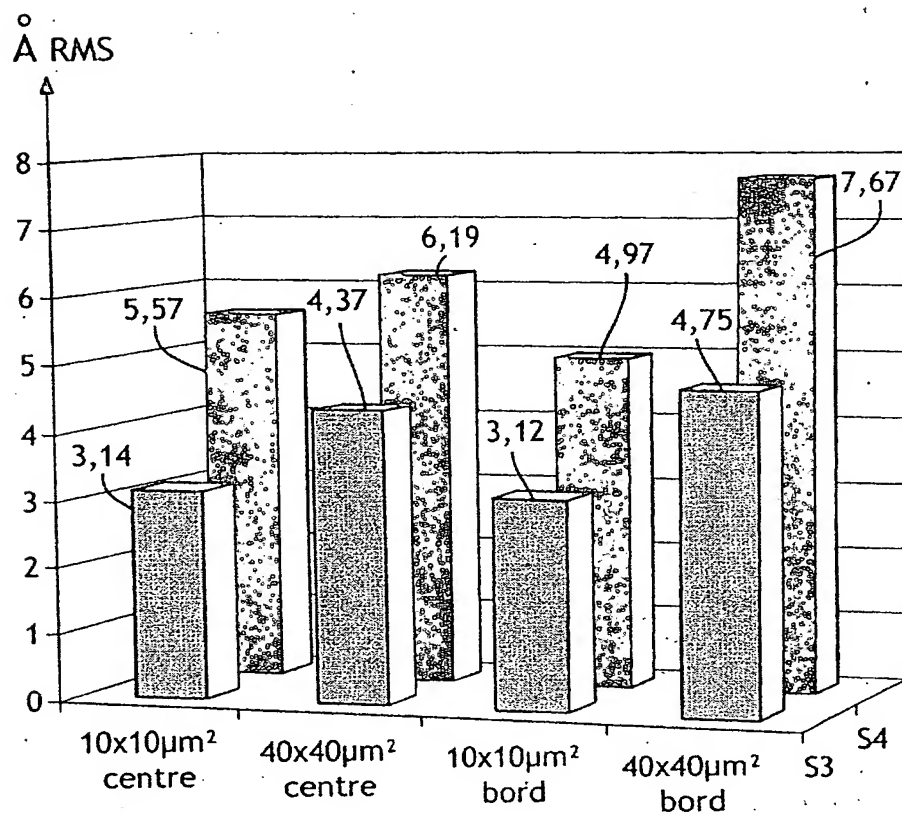


FIG.2

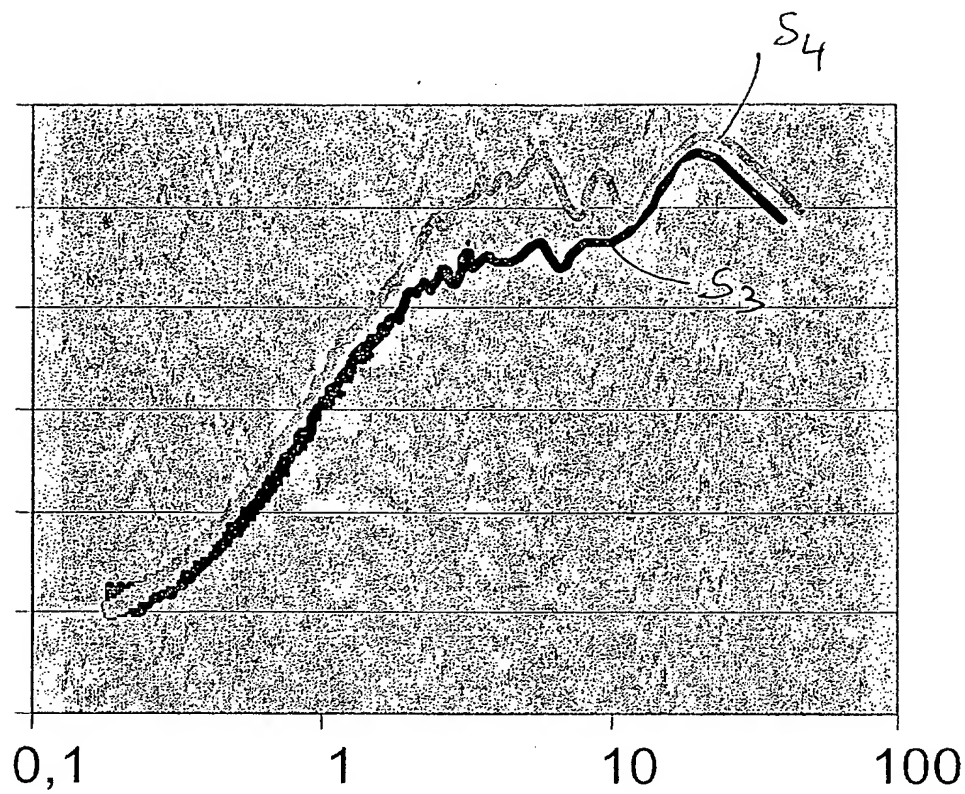


Fig. 3a

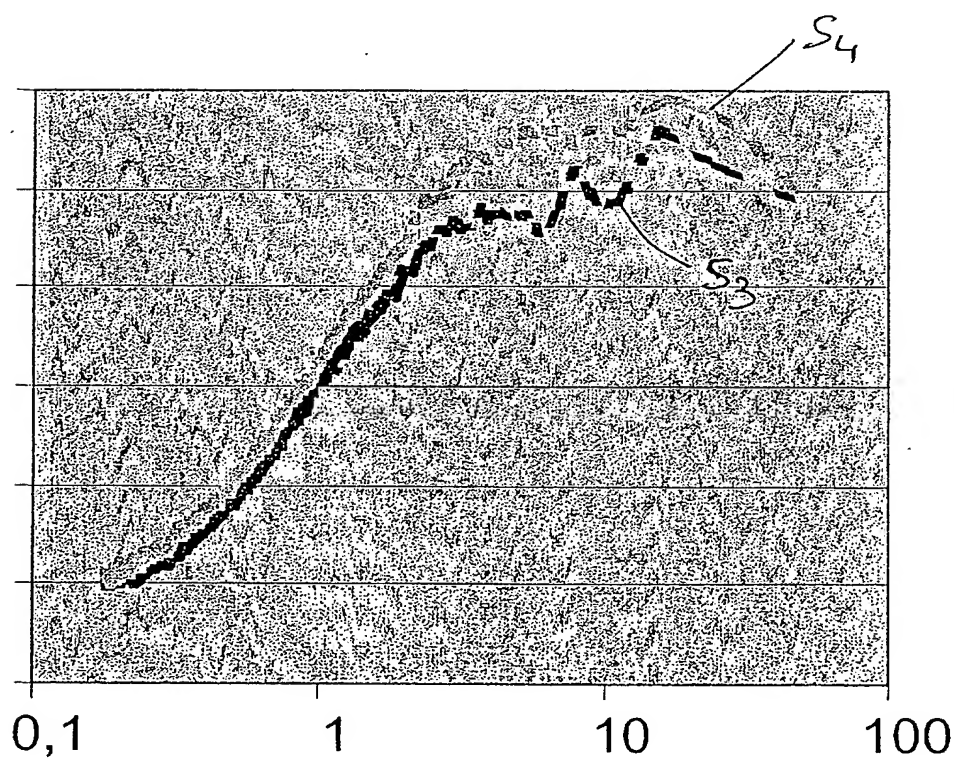


Fig. 3b

3 / 3

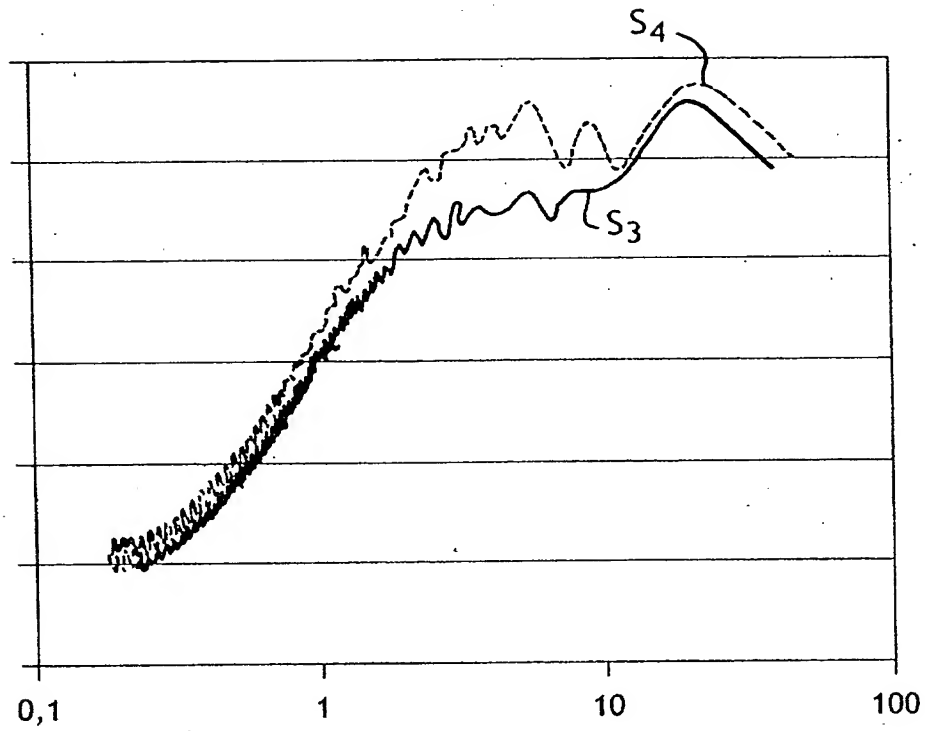


FIG.3a

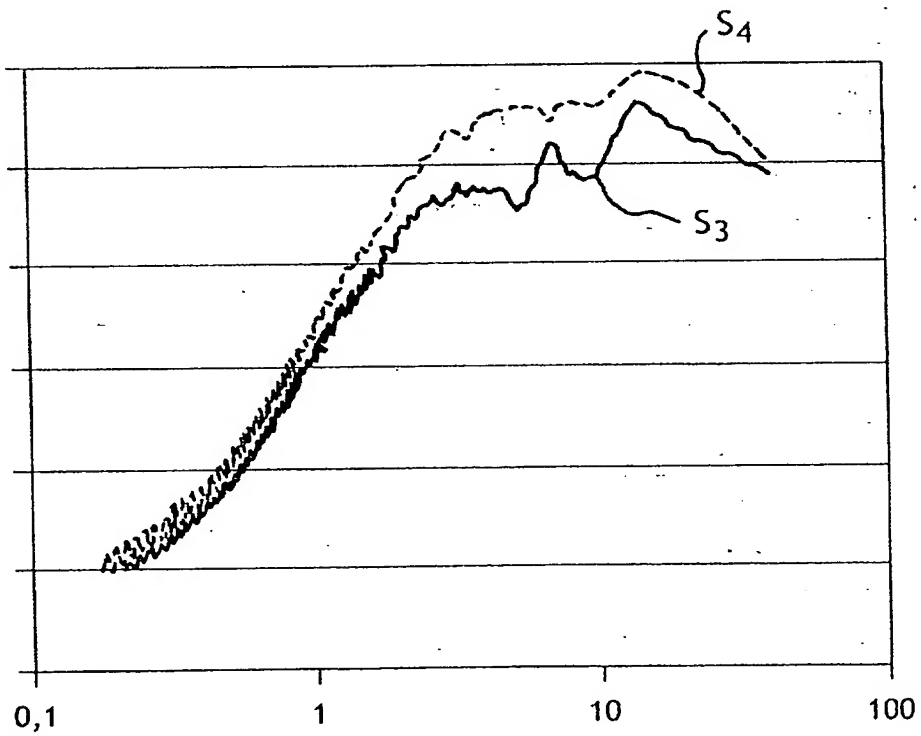


FIG.3b

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1 / 1

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)		240680 D21302 IC
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0309304
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		
PROCÉDE D'OBTENTION D'UNE COUCHE MINCE DE QUALITÉ ACCRUE PAR CO-IMPLANTATION ET RECUI THERMIQUE.		
LE(S) DEMANDEUR(S) :		
S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES : Parc Technologique des Fontaines Chemin des Franques 38190 BERNIN - FRANCE		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1	Nom	
	Prénoms	MALEVILLE Christophe
Adresse	Rue	90 Rue du Château
	Code postal et ville	38660 LA TERRASSE / FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)		
2	Nom	
	Prénoms	NEYRET Eric
Adresse	Rue	2, rue Lesdiguières
	Code postal et ville	38360 SASSENAGE / FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)		
3	Nom	BEN MOHAMED Nadia
	Prénoms	
Adresse	Rue	8, Hameau du Grand Pré
	Code postal et ville	38140 RENAGE / FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		
30/07/03 9402 9402 		

